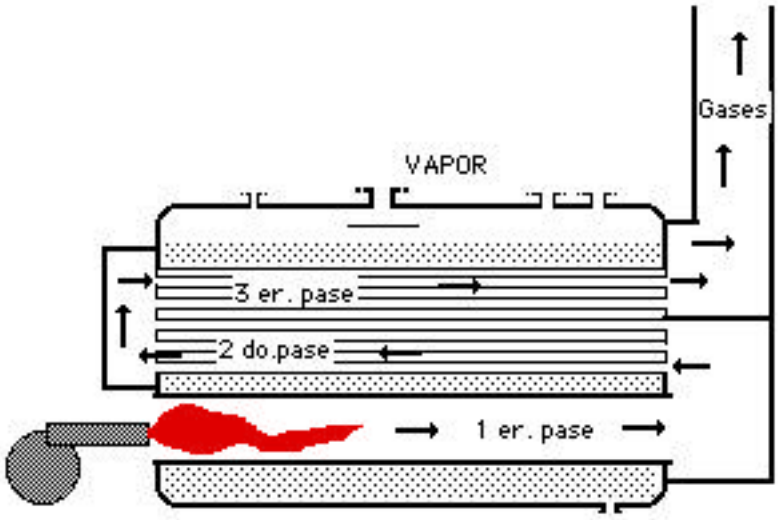
CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)



CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

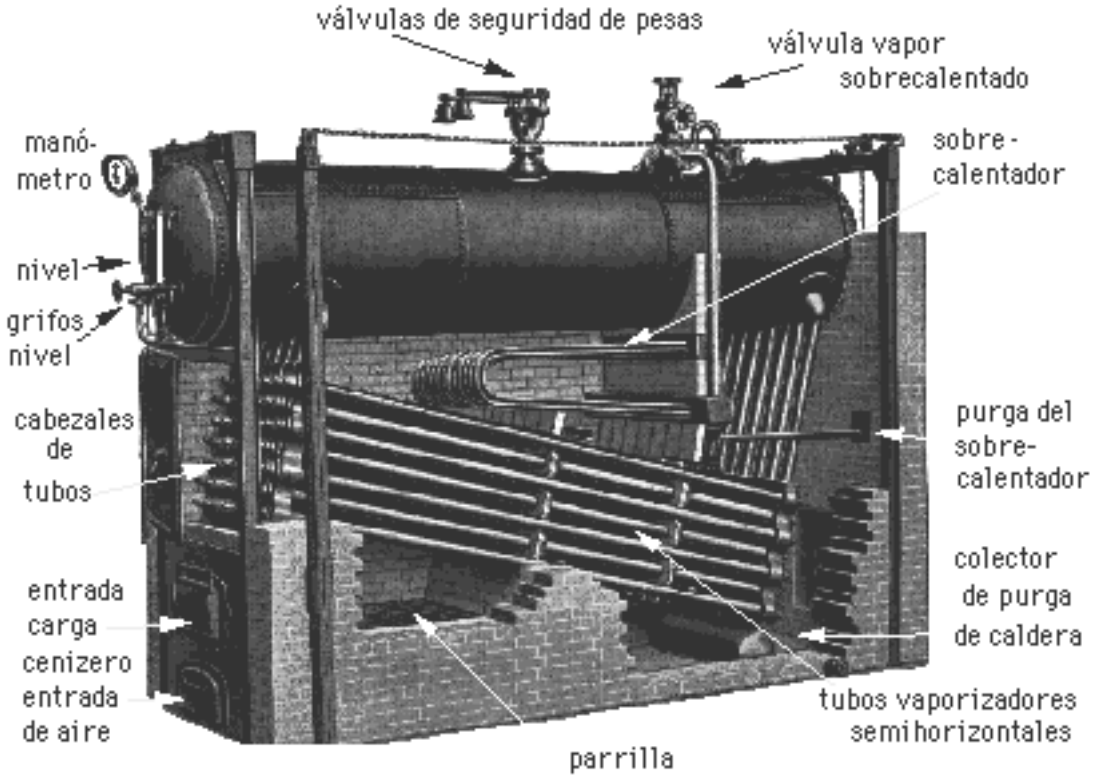
MODULO 1:

LA CALDERA ELEMENTAL

PRINCIPIOS BASICOS

EL VAPOR Y EL AGUA

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)



ANTIGUA CALDERA ACUO-TUBULAR ("INEXPLOSIVA")

Definiciones de caldera de vapor :

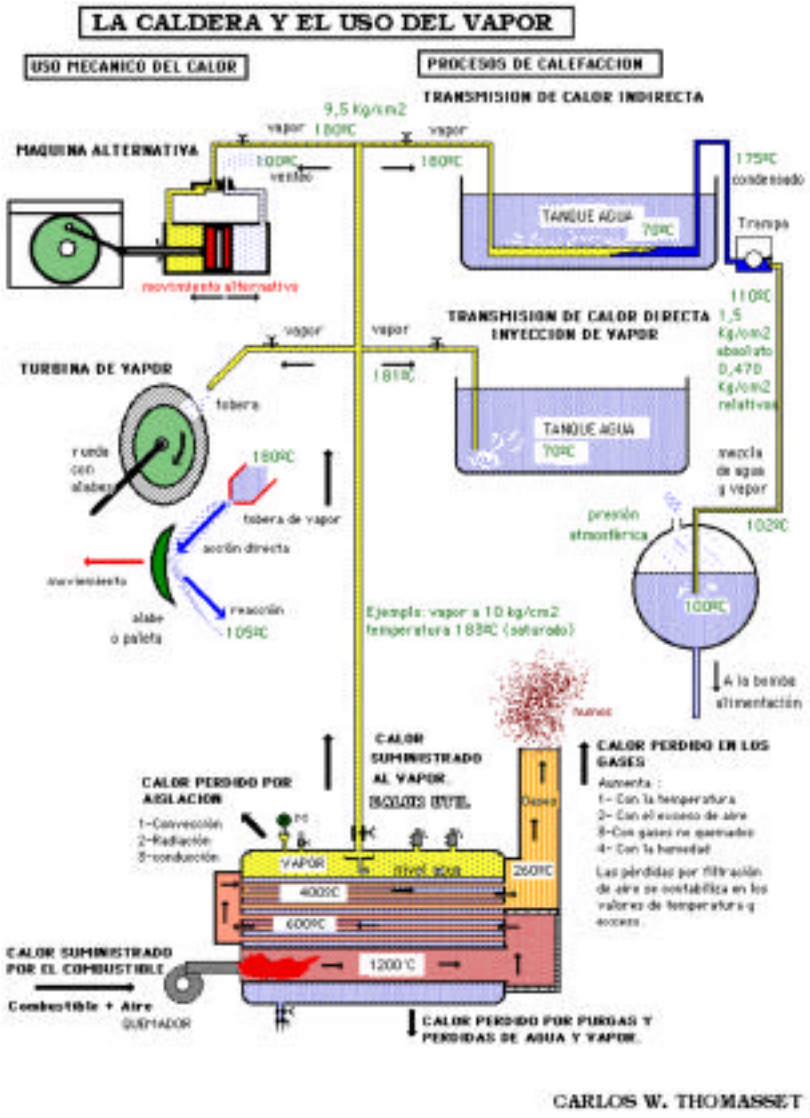
Se denomina **Caldera** : un recipiente cerrado en el cual se calienta agua, se genera vapor, se sobrecalienta vapor o una combinación de ambos, bajo presión o vacío con aplicación directa de calor. El término caldera también podrá incluir unidades con combustión para calentamiento o vaporización de otros líquidos que no sean agua, siendo estos sistemas cerrados dentro de si mismos.

The American Society of Mechanical Engineers.

En este pequeño manual denominaremos Caldera de vapor y nos referiremos a ella en la siguiente definición: Recipiente cerrado para la producción de vapor de agua: para el transporte de calor o su transformación en fuerza motriz, calentado directamente por la combustión de un elemento líquido, gaseoso o sólido en contacto con el aire. Dotado de dispositivos para el control y la seguridad de su funcionamiento.

Esta definición anterior nos esta diciendo que l**a Caldera es un elemento transformador del "calor químico"** que se encuentra latente en un combustible y que al ser "quemado" en el aire (**combustión**), libera calor que es transportado a través de la pared de metal de un recipiente que contiene al agua y que ésta agua al tomar el calor aumenta su temperatura (**calor sensible**) hasta que se evapora (**calor latente**), transportándose este calor en el vapor hasta su utilización como **calor** (calefacción de procesos) o **trabajo** (máquina alternativa a vapor, turbinas a vapor, etc.).

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)



Como vemos, que hay una cantidad de elementos que entran en juego para el funcionamiento de una caldera.

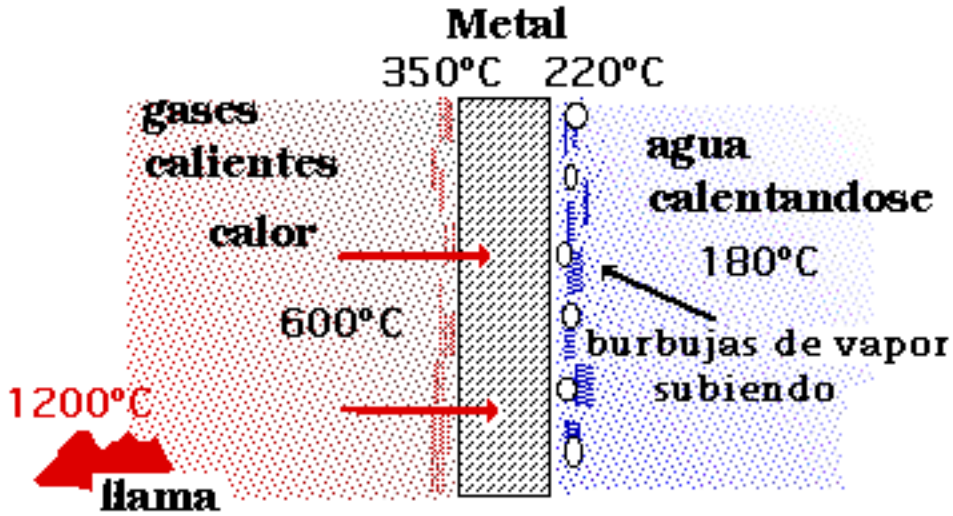
Para lograr entender y poder hacer funcionar correctamente y eficientemente a una caldera, es necesario el conocimiento de estos elementos y su comportamiento.

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

1-La Caldera Elemental

Para entener como funciona una caldera debemos de observar algunos principios básicos.

De acuerdo a la posición relativa de la circulación de los gases y del agua, encontraremos la **primera gran división en la construcción de las calderas: calderas acuo-tubulares** (el agua circula en el interior de los tubos) y **calderas humo-tubulares** (o piro- tubulares , el gas circula en el interior de los tubos).

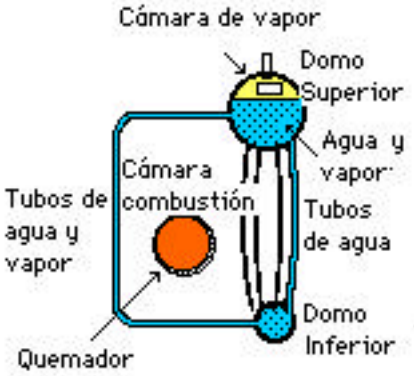


EL CALOR SE TRANSMITE DEL CUERPO MAS CALIENTE AL MAS FRIO.

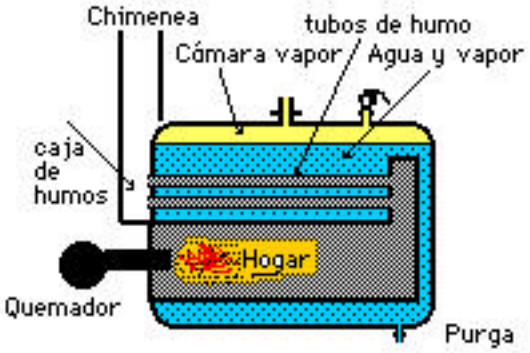
La caldera acuo-tubular está compuesta por recipientes (domos y colectores) que están unidos por tubos por los que circula el agua y el vapor. Estos rodean una cámara de combustión, cuyo calor es transmitido a los tubos desde el exterior.

A estas calderas se les llamó "inexplosivas" por el comportamiento a las "explosiones" o accidentes . (Esto no es tan así cuando se dan condiciones de operación equivocadas, siendo propensas a explosiones de hogar).

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)



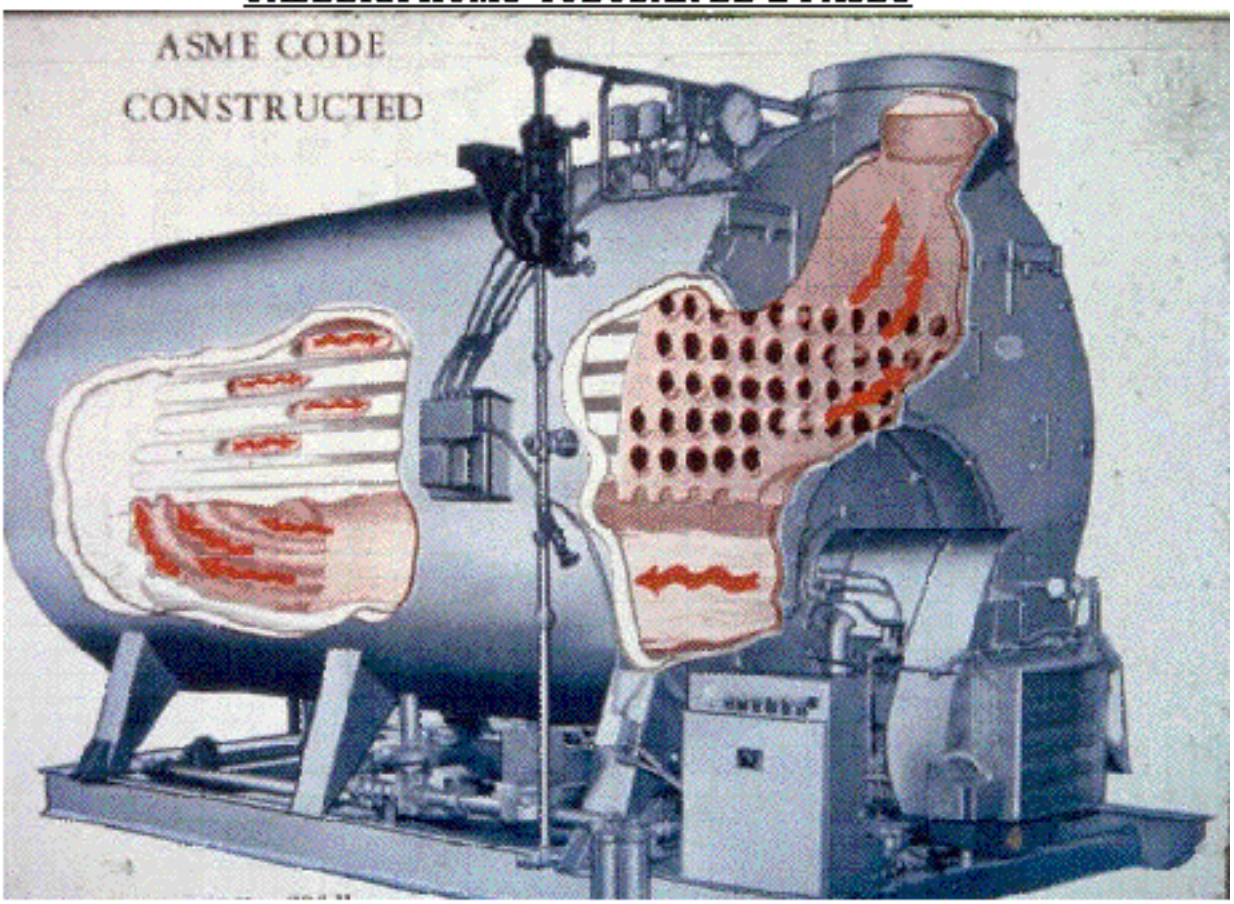
Caldera acuo-tubular



Caldera humo-tubular

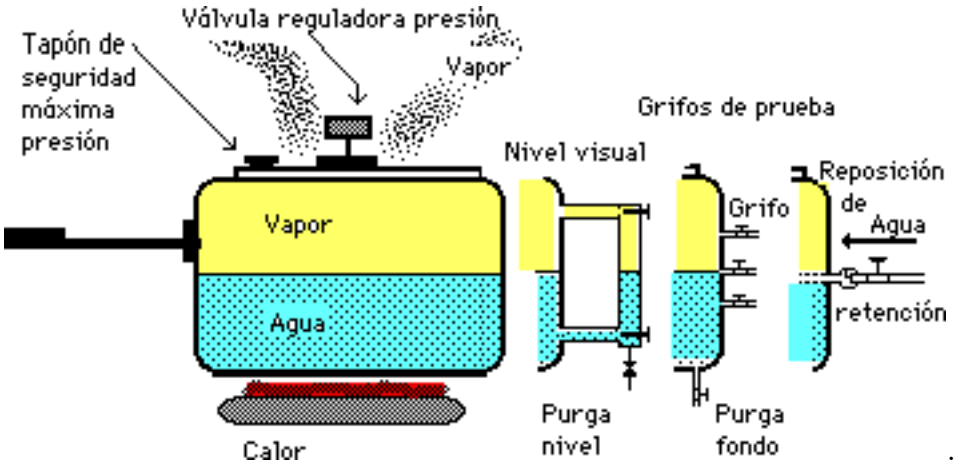
La caldera humo-tubular está compuesta de un recipiente atravesado por un hogar cilíndrico (normalmente, pudiendo ser en forma de bóveda en algunos casos) y por tubos, en los cuales circulan los gases de combustión por su interior. Estas son las calderas más comunes que encontraremos en plaza, cuya presión de trabajo esta limitada por el tamaño de su cuerpo (somete al material a grandes tensiones).

CALDERA HUMO-TUBULAR DE 2 PASES



CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

La caldera más elemental que podemos suponer es la "olla a presión":



La olla a presión difiere de una caldera, ya que la caldera suministra vapor en forma continua, por lo que tiene distintos dispositivos a considerar.

Caldera Elemental

A esta caldera le faltan otros elementos necesarios, pero no imprescindibles, que ya veremos en los temas venideros.

El nivel visual (de vidrio especial), deberá tener una protección en caso que se rompa y "explote" , y válvulas de conexión (para el momento en que se rompa), buena iluminación y una válvula de purga para sacar las "suciedades" que lo puedan "taponar" (estas suciedades son barros que se forman por la precipitación de las sales que trae el agua).

Como en este tubo pueden taparse sus conexiones a la cámara de vapor y a la cámara de agua (o romperse el tubo con la caldera funcionando, o la caldera quedar sin nivel de agua visual: como ser un **alto nivel** en que solo hay agua en el tubo o un **bajo nivel** en que solo hay vapor, en ambos casos a simple vista no se puede saber en cual de los dos casos estamos, a veces purgando el nivel se puede determinar, pero no es fácil), **por eso, debe haber algún sistema para poder comprobar en forma fácil si el nivel de agua está dentro de un determinado valor** (cubriendo la superficie de metal que "calientan" los fuegos). Se instalan **3 grifos de prueba de nivel**, en los que por: el superior sale sólo vapor, en el inferior sólo agua (y vapor de "flash"- agua que se evapora por menor presión) y en el central saldrá según el" nivel" este por encima (agua) o debajo del mismo (vapor).

2-**La presión del vapor** que se deberá producir no se controlará tirando vapor a la atmósfera, sino **controlando la cantidad de fuego**. Para ello debemos tener en el sistema de combustión (cualquiera sea el combustible) un sistema de **regulación de la cantidad de combustión**. Normalmente para los **combustibles líquidos y gaseosos**, regularemos la **cantidad del combustible y el aire** que entran en la cámara de combustión, en forma manual o automática. En los **combustibles sólidos** (leña, carbón, etc.) **regularemos el aire** (sin aire no hay combustión) en forma manual o automática (ya que la leña o carbón están en el hogar en una cantidad importante, que no podremos sacar, sí luego, disminuir o aumentar su carga horaria).

3-Veremos que la **cantidad de vapor máxima** que se producirá **dependerá de la cantidad máxima de combustión**, pero ésto está limitado por la superficie del metal que transmite el calor. Si queremos más vapor debemos **aumentar la "superficie de calefacción"** (superficie de metal que esta expuesta por un lado al calor de

combustión y por el otro lado al contacto con el agua - o mezcla de agua y vapor). Para lograr ésto y para aprovechar mejor el calor, se llegó a la necesidad de hacer pasar los "humos" (gases calientes de la combustión), por entre los tubos, creando la **caldera "humo-tubular" o caldera "piro-tubular" .**

Posteriormente , debido a la necesidad de trabajar a **mayores presiones y con mayor seguridad** , se creó **la caldera "acuo-tubular" o a "tubos de agua" .**

Si observamos las calderas desde el punto de vista del valor de su presión de trabajo, podemos establecer 3 campos arbitrarios : Calderas de **bajas presiones**, calderas de **presiones medias** y calderas de **altas presiones**. Esta división también está normalizada por distintas Asociaciones (normas), pero nosotros la dividiremos arbitrariamente de acuerdo a nuestro entender, basándonos fundamentalmente en la presión relacionada con la calidad de agua a usar (veremos más adelante la importancia del agua a usar respecto a la presión de trabajo y al tipo de caldera) y diremos cuales tipos de calderas se encuentran en dichas presiones:

Calderas de baja presión: Hasta 10 Kg/cm2 (predominan la "humo-tubulares").
Calderas de media presión: Hasta 30 Kg / cm2 (pasando los 20 Kg/cm2 predominan las "acuo-tubulares).
Calderas de alta presión: de más de 30 Kg/cm2 (sólo se encuentran del tipo "acuo-tubulares").

4- A nuestra Caldera Elemental (la olla a presión) **para que cumpla la función de caldera de vapor le debemos instalar un manómetro para saber la presión** del vapor (generalmente la presión se trata de mantener constante), y con él **controlaremos la necesidad de mayor o menor combustión** (sin el manómetro es imposible controlar una caldera, ya veremos que **a cada presión corresponde sólo una temperatura cuando el agua y el vapor puro se encuentran en un recipiente cerrado**).

Una válvula de salida del vapor (para abrir y cerrar el vapor suministrado al consumo), **una válvula de purga de "fondo"** (para extracción de los barros y de las sales disueltas que se acumulan en el agua de la caldera, producto de la sales que trae el agua que introducimos y de los productos químicos para su tratamiento). Para introducir esta misma agua necesitaremos **una bomba de agua con la presión suficiente** que pueda vencer la presión interna de la caldera (Esta bomba deberá estar conectada a la caldera con una válvula de "retención", que permita que el agua entre a la caldera cuando se conecta la alimentación, pero que la presión de la caldera no pueda "vencer" a la presión de la bomba en algún momento que la presión de la misma sea menor, o se pare la bomba y pueda salir el agua de la caldera).

La válvula reguladora de presión pasará a llamarse **válvula de seguridad** (cuya función será descargar el exceso de presión en caso que no podamos reducir a tiempo la cantidad de combustión).

Deberá haber un "tapón fusible" (para que se "funda" -por el calor -y descargue la presión en caso que la caldera se quede sin agua o baje el nivel de agua por debajo de un límite, supuestamente "capaz de apagar el fuego" con su descarga de vapor o por lo menos avisar que se produce en bajo nivel de agua para parar la combustión). Antiguamente, también se ponía el tapón como un limitador de temperatura por elevación de presión, pero se hace muy incierta la temperatura de fusión, dado que los materiales de fusión (estaños y otros, combinados) se alteraban en su composición con las condiciones de operación (cambios de temperatura, exposición al medio,etc.), cambiando su temperatura de fusión. Actualmente se trata de usar materiales puros que no se alteren, como ser el estaño puro, cuya única función es la de controlar la presencia de agua ("fundiendo" por el calor en caso de falta de agua).

Para la puesta en marcha, cuando la caldera esté fría, debemos tener **un "grifo atmosférico"** para sacar el aire del interior de la caldera al calentar la misma (o romper el vacío al vaciarla) y como ésto habrá una serie de accesorios que en algunos casos son necesarios (no imprescindibles) o imprescindibles como los anteriores nombrados.

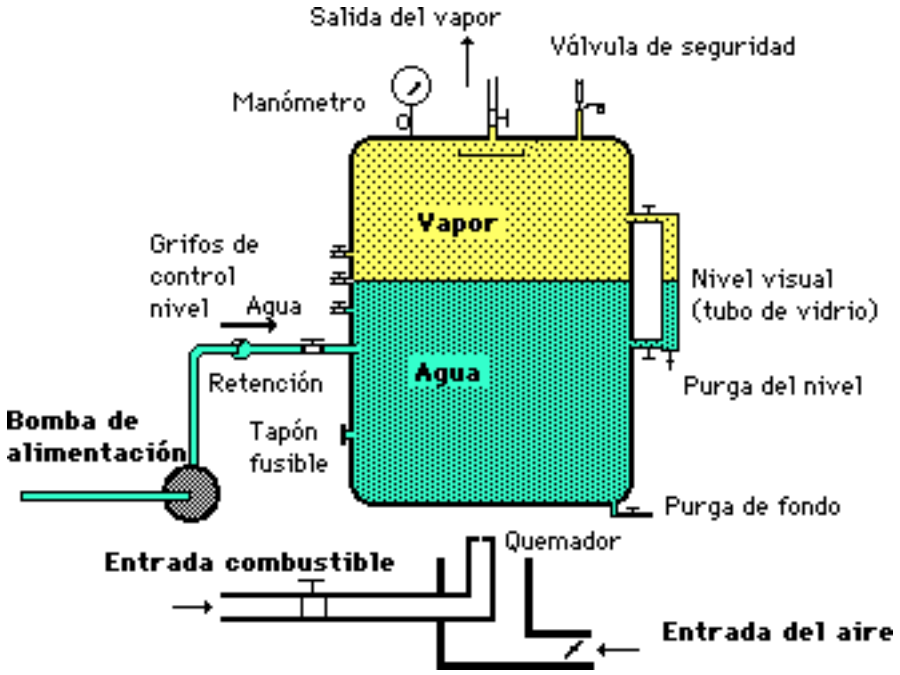
CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

Nuestra "olla a presión" quedará transformada en caldera de vapor al tomar todos estos elementos mínimos necesarios:

Manómetro. Control de nivel visual. Válvulas de seguridad. Control de nivel directo (grifos). Tapón fusible. Purgas de nivel y fondo. Bomba de alimentación y sus válvulas de control y retención. Válvula de salida de vapor. Control del combustible y del aire y otros accesorios necesarios o imprescindibles de acuerdo al diseño deseado de funcionamiento de la caldera.

Debemos dejar en claro que **la presión** no sólo **controla la temperatura del vapor**, sino que ella **será nuestro límite para controlar el esfuerzo que deba soportar el recipiente**. (límite de presión máxima de trabajo).

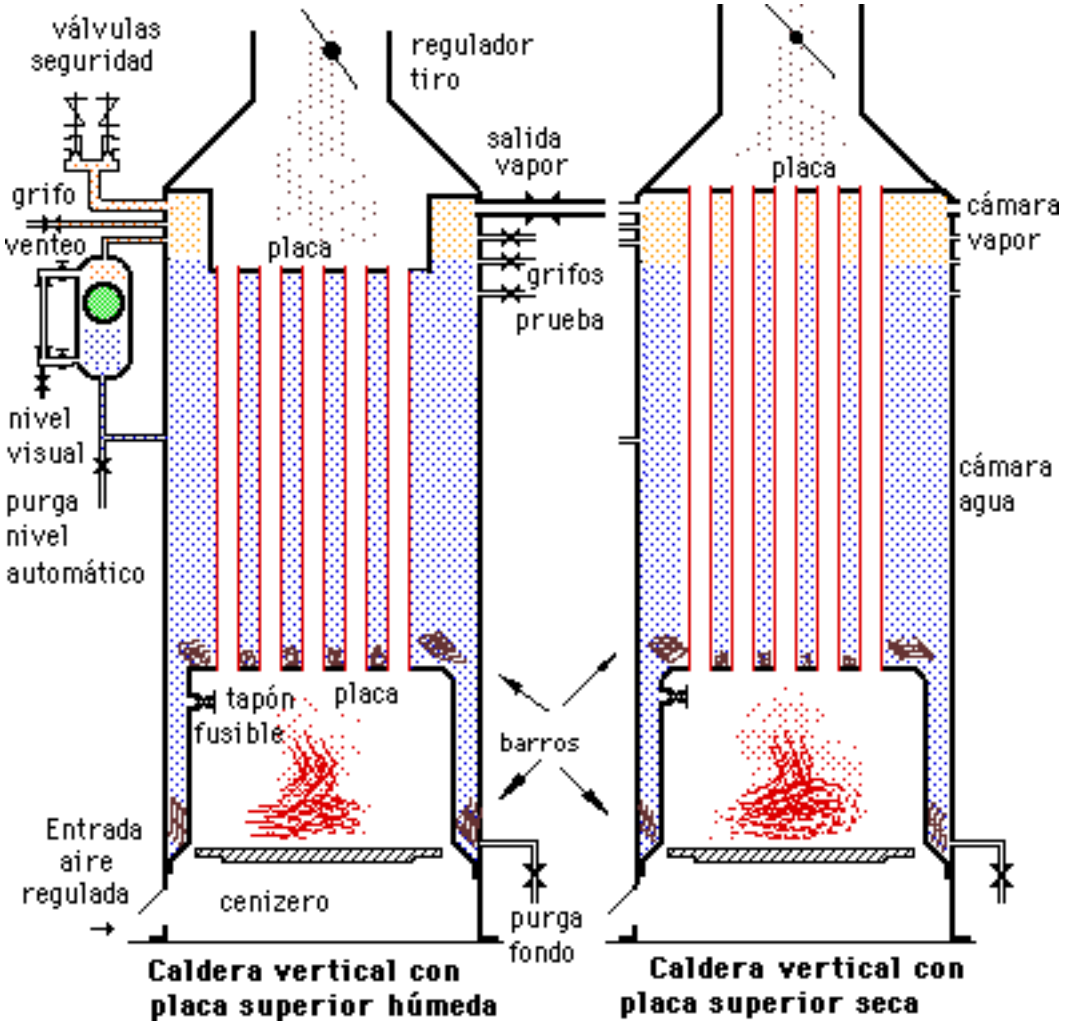
Esto significa que si traspasamos el límite de presión de trabajo, estamos corriendo el riesgo de que el recipiente a presión o sea caldera, pueda romperse y su expansión en la presión atmosférica, no solo provoque daños estructurales, también térmicos ("quemaduras") y efectos secundarios, como una segunda sobre-presión sobre las paredes del recinto y a su vez la "voladura" de dicho recinto (paredes, techos, etc).



RESUMEN:

Esta Caldera elemental funciona tomando el calor producido por la combustión, cantidad de calor que podremos regular de acuerdo a la necesidad (mantener la presión de trabajo), ajustando la cantidad de combustible y aire. Este calor es transmitido al agua (mezcla de agua y vapor) a través del metal, produciendo la vaporización del agua, primero elevando su temperatura (calor **sensible**) y luego evaporando la misma (calor **latente**).

Este vapor se deja "empujar" por la presión generada hacía las cañerías dónde será "consumido" (condensado). La cantidad de agua que entra por la alimentación debe ser igual a la cantidad de agua que se evapora más la que debemos de extraer por la purgas y pérdidas. Tenemos las protecciones suficientes para mantener la presión en un límite máximo y mantener el nivel de agua adecuado. Siendo el tapón fusible una protección para el caso de que nos quedemos sin suficiente nivel de agua y no podamos "apagar" el "fuego".



CALDERAS HUMO-TUBULARES DEL TIPO VERTICAL

2- El agua y el vapor

Parte -1 **El vapor:**

El agua es el elemento (que en forma de vapor) **se encargará de transportar el calor** generado en la combustión (oxidación rápida del combustible) al punto o lugar en donde este calor se utilizará para un proceso térmico o mecánico. Allí volverá a ser agua (condensado) que se recuperará o no.

UNA CALDERA ESTA EXPUESTA A TENER ACCIDENTES DE GRAVES CONSECUENCIAS SI NO ESTA BIEN DISEÑADA Y BIEN OPERADA.

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

CUERPO DE CALDERA VERTICAL LUEGO DE UNA EXPLOSION

50 litros de agua sobrecalentada a 10 Kg/cm2 de presión con 183ºC de temperatura, equivalen a 1 Kgr. de pólvora.

DAÑOS QUE PUEDE PROVOCAR LA PRESION DEL VAPOR Y AGUA EN UNA CALDERA (en este caso una caldera vertical)

Aclaremos estos términos : **Presión**: Podemos definirla como la expresión que indica las unidades de fuerza que son aplicadas por unidad de superficie.

De acuerdo a las unidades utilizadas para medir la fuerza y las unidades de superficie, podremos hablar de Kilogramos por centímetro cuadrado: Kg/cm2, Libras por pulgada cuadrada: Lb/pulg ó Lb/#, etc.

También podrá referirse a la comparación con otras presiones: como la presión atmosférica, la presión de que ejerce una altura (expresada en m., cm, mm ó pulgadas) determinada de agua u otro líquido (por ejemplo : mercurio), etc.

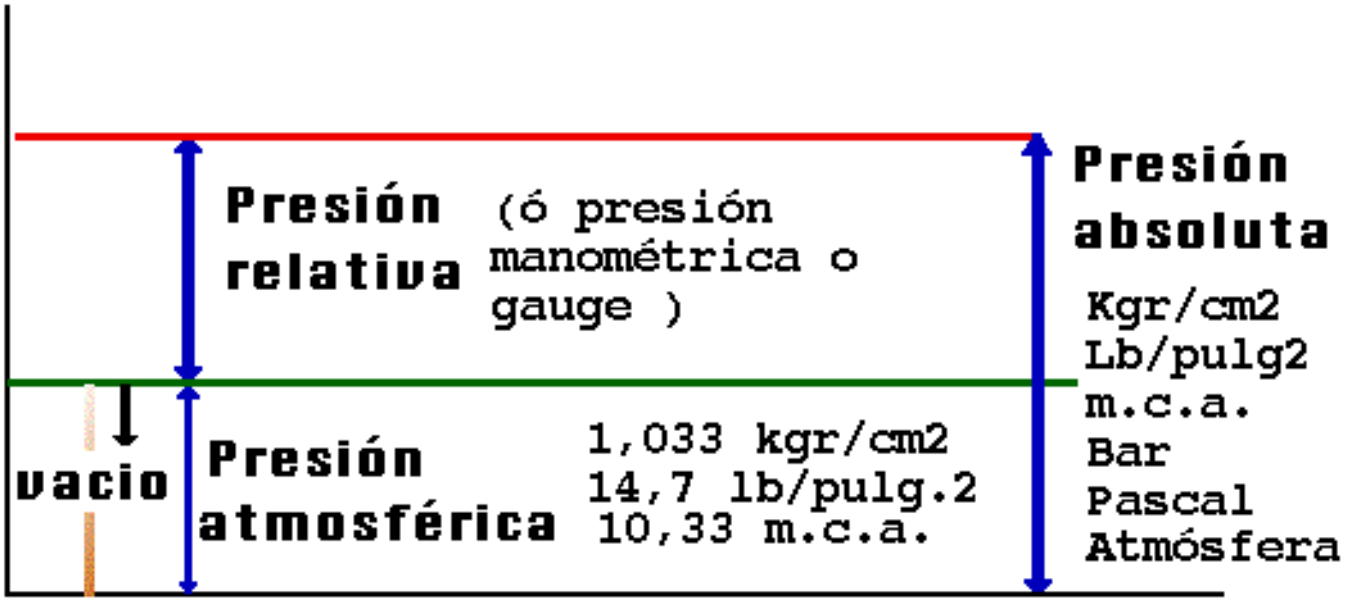
Todas estas unidades pueden ser expresadas en forma equivalente si para ello utilizamos un factor de conversión . Por ejemplo:

1 Kg./cm2. lo multiplicamos por 14,22 nos da la presión en Libras/Pulg.2.

1 Kg./cm2. lo multiplicamos por 10 nos da la presión en metros de columna de agua.

La presión que indican los manómetros por lo general es la presión "relativa" (gauge en inglés) **.**
La presión "absoluta" es la suma de la "presión atmosférica" más la presión "relativa"

PRESION ABSOLUTA=P. ATMOSFERICA + P. RELATIVA



Presión atmosférica al nivel del mar

Con la altura la presión atmosférica disminuye

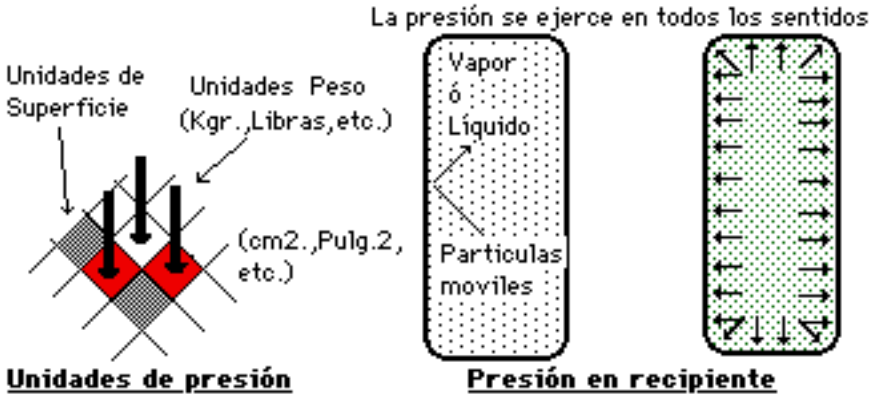
La presión atmosférica varía con el clima

¿Pero qué es la presión en líquidos y gases (vapores) ? :
Es la fuerza que ejercen las moléculas sobre las paredes que las confinan:

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

PRESION

PRESION = FUERZA POR UNIDAD DE SUPERFICIE



FUERZA..... KGR. , LIBRAS, etc.
SUPERFICIE ....CM2, PULGADA 2, etc.
PRESION .....Kgr/cm2, Libras/pulg.2 y otras como Atmósferas, Bars, Pascal, m.c.a., etc.

En las calderas **utilizaremos los manómetros** para medir la presión, debemos fijarnos bien en **qué unidades de presión** está "marcado" (en qué unidades indica la presión) y si corresponde a **lecturas absolutas o relativas**.

La **presión absoluta** es aquella que marca un manómetro que tiene la indicación de la presión atmosférica (Indica aprox. 1 cuando sus unidades sean expresadas en Atmósferas, 1,033 en Kg./cm2 o 14,7 cuando indica Libras por Pulg.2.) cuando su conexión la exponemos a la atmósfera (es decir que para que indique cero de presión debemos de hacer "vacío " total en su conexión o toma).

La **presión relativa** o "manométrica" ("gauge" en ingles) es aquella que indica un manómetro que tiene la indicación de cero cuando su conexión se encuentra expuesta a la atmósfera .

La presión absoluta es igual a la **suma de la presión manométrica** más **la presión atmosférica** (expresadas en **igual unidades**, sumamos : 1,033 en Kg./cm2 , 1 en Atmósferas ó 14,7 en Lb/Pulg.2, etc.).
Debemos ser muy cuidadosos cuando decimos una presión de aclarar a cual de las dos nos estamos refiriendo. (Generalmente la presión de los manómetros es relativa, por eso se llama a la presión relativa :"manométrica" ó "gauge" en ingles).

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

Veremos que **un recipiente a "presión" no necesariamente "explota" con gases comprimidos en su interior, sino que dichos gases se pueden formar y expandir, a partir de los líquidos "sobrecalentados"** .

LA PRESION QUE SOPORTAN LAS CALDERAS, TANTO DE VAPOR COMO DE AGUA CALIENTE, HACEN QUE ESTOS EQUIPOS SEAN DE ALTA PELIGROSIDAD.

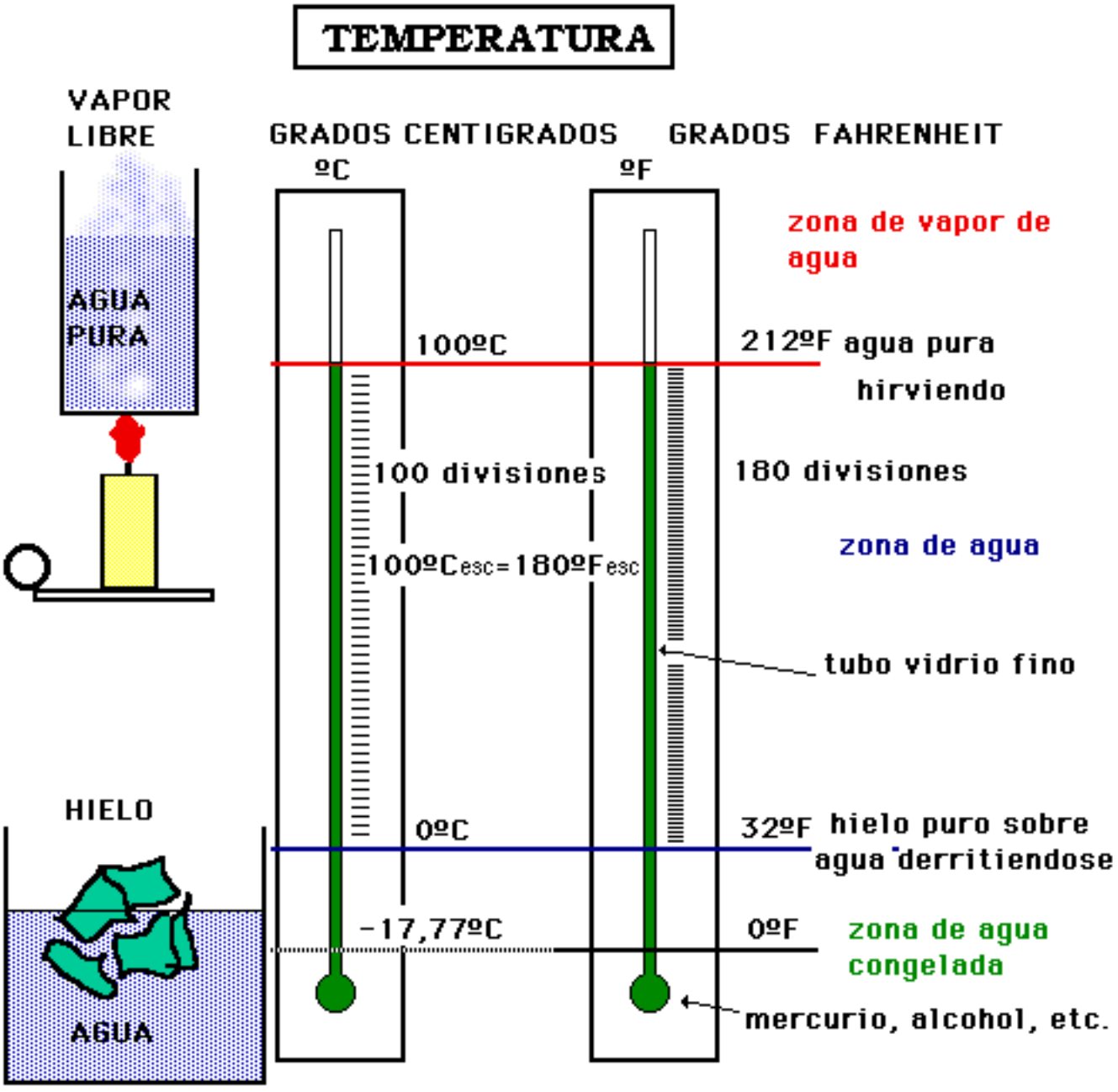
Los manómetros de caldera (indican la presión manométrica o relativa interior del agua y el vapor) **son adecuados para este uso** (precisión y temperatura), siendo importante su verificación cada tanto tiempo (puede variar por desgaste o fatiga), dado que el esfuerzo que soporta la caldera estará indicado por dicha presión.

La presión del agua y del vapor en una caldera, tratándose de vapor saturado y agua a temperatura de ebullición, acumulan una energía térmica que si se "desata" en una energía mecánica (expansión), cuando el recipiente que las contiene y confina (caldera) sufre un rotura (por exceso de presión, mala construcción, "envejecimiento" térmico o mecánico, corrosión o sobrecalentamiento, etc.) produce la rotura del recipiente y se transforma en una onda expansiva que ejerce una presión sobre las paredes que la rodean o elementos que se interpongan en su camino, con consecuencias catastróficas. Vease la figura anterior de una caldera vertical, que luego de la rotura o explosión, la misma fue proyectada a cientos de metros del lugar en donde estaba instalada.

ASI COMO LA PRESIÓN , LA TEMPERATURA, OTRA PROPIEDAD FISICA QUE DEBE SER CONCIDA PARA CONOCER Y OPERAR UNA CALDERA.

Ambas, están intimamente relacionadas, ya que la presión en una caldera está determinada por la

temperatura.



100ºC equivale a 212ºF y 0ºC equivale a 32ºF

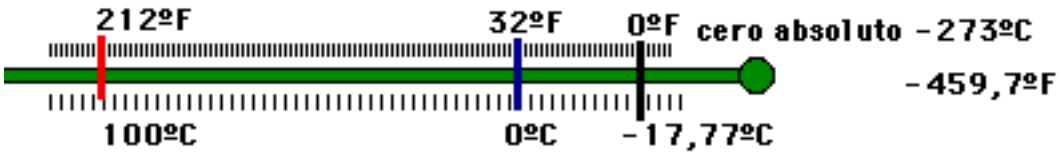
100ºC de escala es igual a 212ºF - 32ºF = 180 de escala ºF

Los termómetros superiores se suponen que están expuestos a la presión atmosférica estándar (al nivel de mar, cuya presión atmosférica es de 1,033 Kg/cm2), para las condiciones de medida sobre el agua, su vapor o agua congelada (hielo).

La temperatura la podemos definir como la indicación del grado (nivel de energía) **de calor de los cuerpos**. Su indicación numérica depende a que grados de temperatura está referida y desde que punto parte esa medida (cual es su cero). Veremos que trabajaremos generalmente con dos sistemas de unidades: **grados centígrados (ºC) o grados Fahrenheit (ºF).**

La temperatura se mide con los **termómetros** (elemento sensible a la temperatura), los cuales tienen indicada la escala a la cual se refiere (**ºC** ó **ºF**).

Para establecer ambas escalas se utiliza la propiedad del **agua pura** que se descongela siempre a la misma temperatura (a presión atmosférica a nivel del mar) estableciendo la misma como **0ºC** ó **32ºF** y de que hierve a la misma temperatura en un recipiente abierto (a presión atmosférica a nivel del mar) a **100ºC** ó **212ºF**. Si dividimos dicha escala (la dilatación del mercurio, alcohol, de un elemento metálico, etc.) en **100 partes**, tendremos **1** grado centígrado (**1ºC**) y si dividimos en **180 partes** obtendremos una parte equivalente a **1** grado Fahrenheit **(1ºF**). Podremos pasar de una escala a la otra haciendo una conversión:



$$1ºC = \frac{5\ ºF}{9}$$

$$ºC = (ºF - 32) \times 5/9$$

$$ºF = ºC \times 9/5 + 32$$

TEMPERATURAS ABSOLUTAS:

Grados KELVIN..... ºC + 273 = ºK

Grados RANKINE..... ºF + 459,7 = ºR

Unidad de calor : Definiremos la Unidad de calor como la **cantidad de calor necesaria** que hay que suministrar a **una unidad de agua pura para que se eleve en un grado su temperatura** en determinado rango (de 15ºC ó 17,5ºC para la caloría).

De acuerdo a las unidades tendremos :

1 Kilo-caloría = a elevar **1 ºC** la temperatura de **1 Kg.** de agua pura.

1 B.T.U. = a elevar **1 ºF** la temperatura de **1 libra** de agua pura.

Podemos establecer la relación entre ambas, relacionando sus unidades bases: **Kilo-Caloría x 3,968 = B.T.U. B.T.U. x 0,252 = Kilo-Caloría**

Como vemos, estamos hablando de los dos sistemas más comunes de unidades en nuestro medio, el sistema " métrico " y el " inglés ".

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

Kcal.

1 KILO CALORIA = CALOR PARA AUMENTAR 1ºC A 1 KGR DE AGUA

BTU

1 BRITISH THERMAL UNIT = CALOR PARA AUMENTAR 1ºF A 1 LIBRA DE AGUA

1 BTU = 0,252 KCal 1 Kcal =3,968 BTU

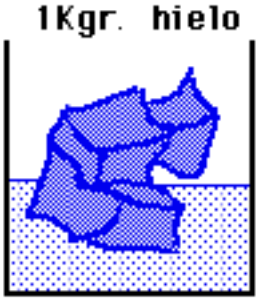
VAPOR SATURADO ES AQUEL QUE TIENE LA MISMA TEMPERATURA QUE EL AGUA DE CONDENSACION EN CONTACTO

CALOR SENSIBLE

SE NECESITAN 100 KCal. PARA CALENTAR DE 0ºC A 100ºC 1 KGR. DE AGUA

CALOR LATENTE

SE NECESITAN 539,4 Kcal. PARA EVAPORAR 1 KGR DE AGUA De 100ºC a 100ºC A PRESION ATMOSFERICA



1 KGR. DE VAPOR DE AGUA A PRESION ATMOSFERICA OCUPAN 1,725 M3.

1KGR. DE VAPOR DE AGUA A 10 KGR./CM2 PRESION OCUPAN 0,180 M3

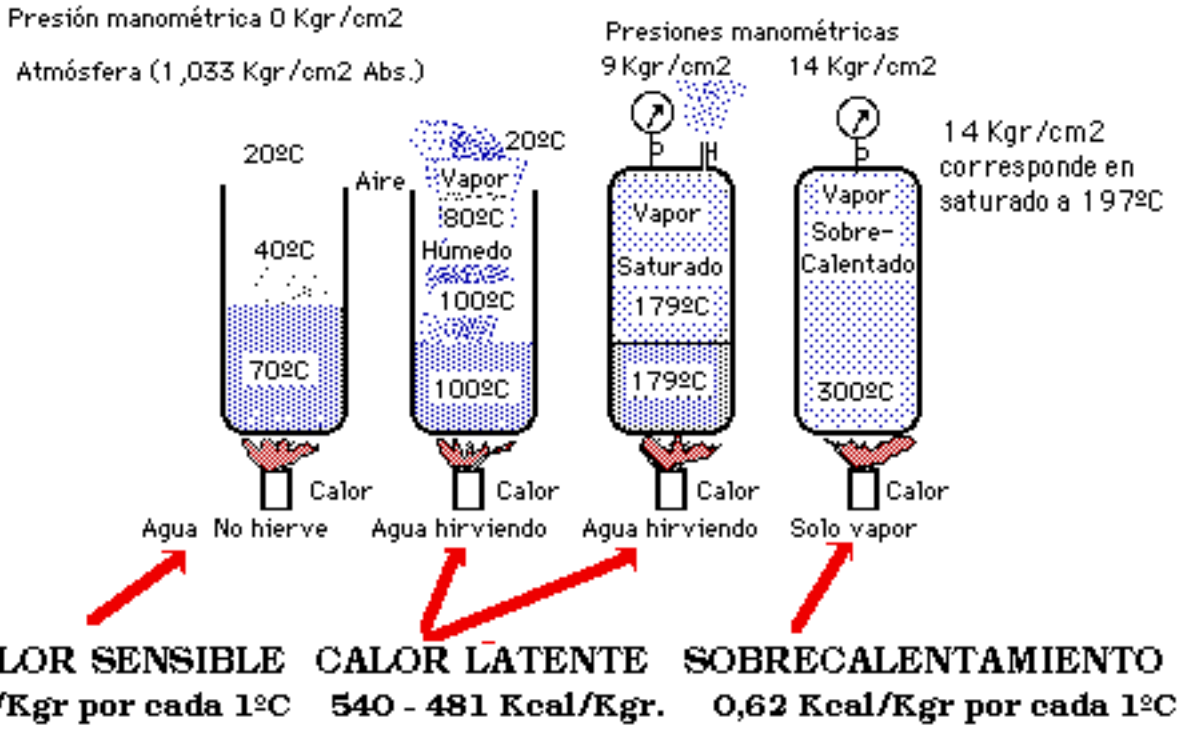
SE NECESITAN 80 Kcal. PARA DERRETIR 1 KGR. DE HIELO

BANCOS DE HIELO en industria lechera.

Hablemos del agua y sus propiedades físicas y químicas .

El agua (**H2O**) esta compuesta por dos elementos: el oxígeno **(O)** y el hidrógeno **(H)**, dos átomos de hidrógeno **(H2)** y un átomo de oxígeno (**O**).

Se encuentra en la Tierra en cantidades muy importantes, casi siempre con otros elementos que " se disuelven " en ella. (Es el solvente universal por excelencia y cambia su comportamiento físico-químico al tener sustancias disueltas).



Si consideramos el agua pura, sabemos que tiene los siguientes parámetros: **Se congela a 0°C** (32ºF) y **hierve** al nivel del mar en un recipiente abierto a **100°C** (212ºF), **1 litro de agua (dm3)** a 4ºC pesa **1 Kg.** (al nivel del mar), si la hacemos hervir en un recipiente cerrado sin aire (ni otros gases) veremos que **a cada temperatura corresponde una determinada presión** .(Esta relación ocurre con el vapor saturado) .

Veremos que cuando calentamos el agua pura en un recipiente abierto (a la atmósfera y al nivel del mar, ver croquis anterior), **el agua hierve** a **100°C**. Si **seguimos calentando veremos que la temperatura se mantiene en 100°C, pero el agua se evapora** (se transforma en vapor). Este calor que transforma el agua en vapor se llama **calor latente** (un calor que se encuentra en forma de energía - es decir: transformó al líquido en un gas - vapor- que al enfriarlo vuelve a transformarse en el líquido - agua - entregándonos nuevamente dicho calor).

Aclaremos qué significa **hervir** (ebullición): ésto se produce cuando en el seno del agua se nota un gran movimiento provocado por el rápido desprendimiento de burbujas de vapor, es decir que la presión del vapor que se genera, supera a la presión del agua y del vapor que lo rodean .(Puede haber evaporación aunque no se llegue a la temperatura de ebullición). La atmósfera esta compuesta por vapor de agua y gases (oxígeno, nitrógeno, etc). Este vapor de agua tiene una presión parcial correspondiente a la temperatura de esta mezcla y la cantidad de vapor presente en la atmósfera - formando la humedad ambiente (se expresa en meteorología como % de humedad relativa), proviene de la evaporación de océanos, lagos, ríos, etc. y hay un máximo (saturación, "punto de rocío") para cada temperatura y presión atmosférica.

Si al recipiente lo cerramos y calentamos el agua (dejando escapar el aire totalmente, empujado por el vapor), veremos que el vapor al no tener lugar para "expandirse ", empieza a a levantar la presión en el interior del recipiente (la presión en interior antes de cerrar es de 1 Atmósfera absoluta o sea 1,033 Kg/cm2 -14,7 Libras/pulg.2 -y la relativa o "manométrica" igual a 0). Se puede observar que la **temperatura del agua y del vapor es la misma** y **que ambas suben en forma correlacionada** (a cada temperatura le corresponde una determinada presión). Si volvemos a enfriar y volvemos a calentar dichos valores de temperatura y presión volverán a ser los mismos que los anteriores (siempre que no haya otros gases mezclados con el vapor de agua). Este vapor que se genera y se encuentra en contacto con el agua se llama **vapor saturado** (seco o húmedo). En el

caso de las calderas, como hay movimientos de circulación del agua en su interior, al "arrastrar" pequeñísimas gotitas podemos tener un vapor no saturado seco, sino saturado con humedad, se llama **vapor húmedo** y la cantidad de vapor total (que expresamos como 100%) menos la humedad que representa su % en peso, se llama "Título del vapor" (representa el % de vapor saturado seco en peso).

Si al recipiente cerrado con agua lo calentamos (con poca cantidad de agua), es decir logramos evaporar totalmente el agua, el vapor al recibir calor pasará a tener mayor temperatura y presión, pero una temperatura mayor que la presión correspondiente al caso anterior, **este vapor es vapor sobrecalentado.** (Este vapor es seco y puede absorber agua hasta su saturación, bajando su temperatura).

La relación entre la temperatura del agua y la presión del vapor saturado en una caldera está en las Tablas de vapor saturado.

TABLAS DE VAPOR SATURADO

presión	temperatura	calor total	calor agua	calorvapor	volumen	
ATA	Cº	Kcal/Kgr.	Kcal/Kgr.	Kcal/Kgr.	m3/Kgr.	
0.05	32.55	611.3	32.55	578.9	28.7300	
0.20	59.67	623.1	59.61	563.5	7.7930	
0.50	80.86	631.6	80.81	550.8	3.3010	
1.00	99.09	638.5	99.12	539.4	1.7250	Presión Atmosfera al nivel del mar.
2	119.62	645.8	119.87	525.9	0.9016	
3	132.88	650.3	133.40	516.9	0.6166	
4	142.92	653.4	143.60	509.8	0.4706	
5	151.11	655.8	152.10	503.7	0.3816	
6	158.08	657.8	159.30	498.5	0.3213	
7	164.17	659.4	165.60	493.8	0.2778	
8	169.61	660.8	171.30	489.5	0.2448	
9	174.53	662.0	176.40	485.6	0.2189	
10	179.04	663.0	181.20	481.8	0.1981	
11	183.20	663.9	185.60	478.3	0.1808	Presión de trabajo 10 kg/cm2
15	197.36	666.6	200.60	466.0	0.1343	
20	211.38	668.5	215.8	452.7	0.1016	

Ejemplo:

Para una presión de 10 atmósferas absolutas (10,33 Kg/cm2 absolutos - ó 9,3 Kg./cm2 relativos o manométricos), se tiene un temperatura de 179ºC tanto en el agua como en el vapor. Para calentar el agua hasta la temperatura de vaporización (179ºC) partiendo de 0ºC se necesitan 181 Kilo-calorías por Kg. de agua y para vaporizar ese Kg. necesitamos 489 Kilo-calorías. Es decir, que para vaporizar a una presión de 10 Atmósferas Abs. 1 Kg. de agua partiendo de 0ºC necesitamos el total de 663 kilo-calorías . Estos valores están en las tablas de vapor. Ver tablas al final.

Esto nos permite calcular la cantidad de calor que necesitamos para producir cada Kg. de vapor (saturado seco) a determinada presión, con simplemente saber la presión de trabajo de la caldera y la temperatura del agua de alimentación:

Calor necesario para evaporar 1 Kg. agua = Calor Total de vapor - calor del agua Alimentación. (este calor será

mayor debido a las pérdidas de calor en la caldera).

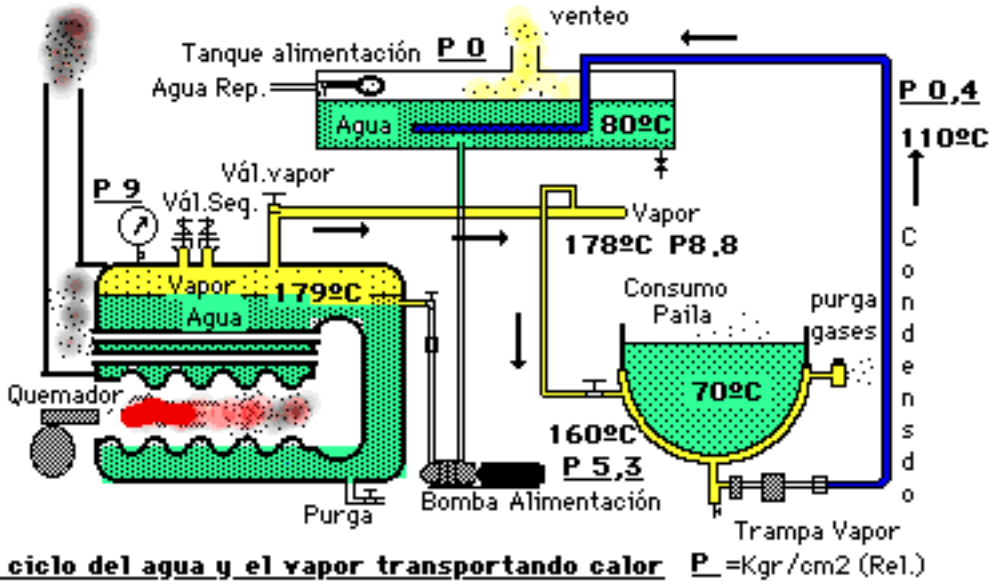
Como se comprueba en el ejemplo, el **calor más importante en cantidad por Kg.** es el debido al **calor latente o calor de vaporización**, el cual normalmente se usa condensando el vapor en los puntos de utilización .

Así como **sabiendo la presión en un vapor saturado sabemos su temperatura**, también **sabiendo sólo su temperatura sabremos su presión** . (Recordemos que vapor saturado es aquel que se encuentra en contacto con el agua que lo produce y no recibe más calor al ser evaporado).

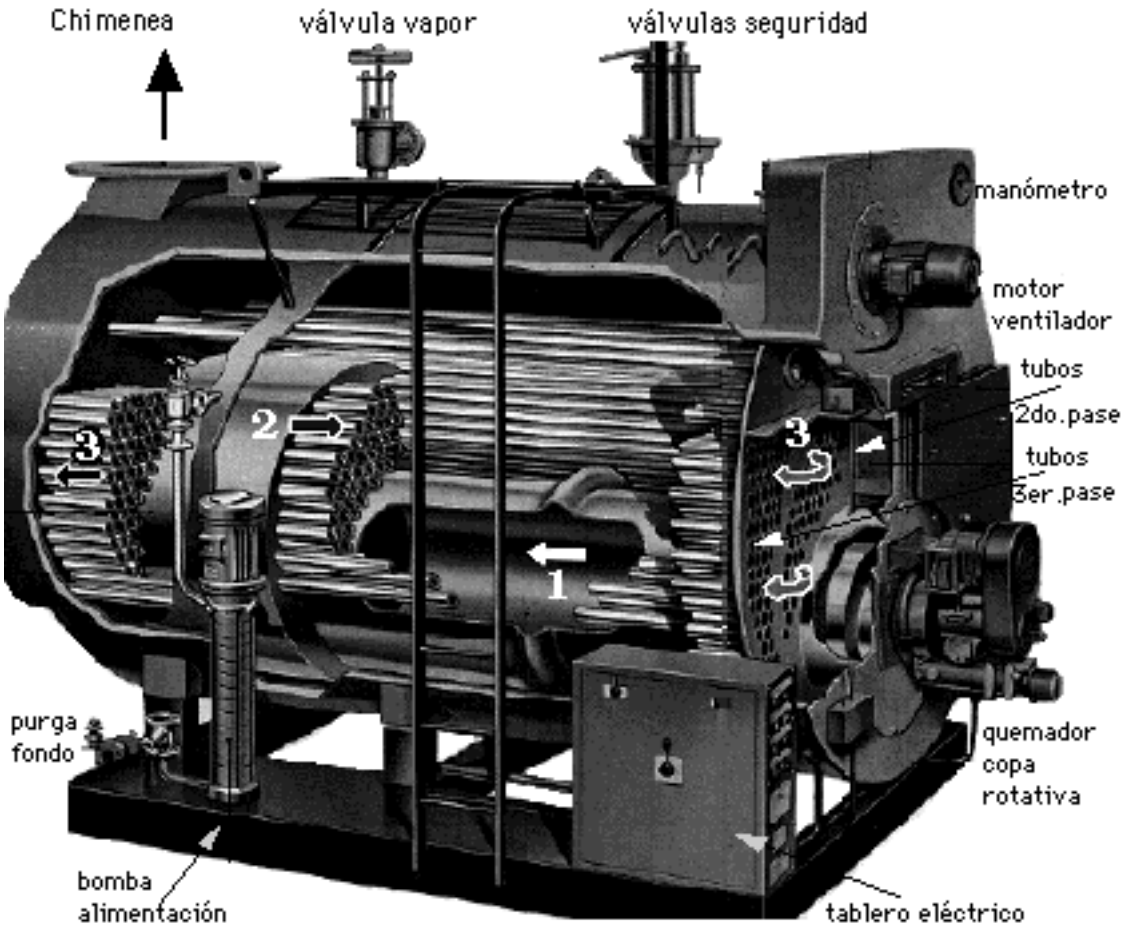
De lo anterior se deduce que **si sabemos la presión de un vapor saturado, sabremos su temperatura y la cantidad de calor que es capaz de aportarnos donde lo utilizamos**:

Calor aportado = Calor Total del vapor - Calor del agua condensada.

(Esta última, el condensado, por lo general se encuentra normalmente a una temperatura de más de 100ºC por ser su presión mayor que la atmosférica (se dice que es agua sobrecalentada)-ver tabla- y que una vez a la presión atmosférica transforma parte de su calor formando el vapor de "flash" o sea, se provoca una re-evaporación para lograr el equilibrio entre la temperatura y la presión correspondiente a vapor saturado (presión atmosférica al estar el tanque de alimentación o condensado conectado a la atmósfera).



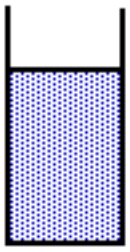
Vemos que en el ciclo que cumple el agua y vapor, sus temperaturas y presiones estarán relacionadas mientras ambos estén en contacto directo (vapor saturado seco o húmedo). Solamente se verá alterada esta relación si calentamos el vapor sólo o producimos una disminución de la presión por aumento del volumen ocupado por el vapor sin entrega de calor (como en el caso de bajar la presión con una válvula reguladora de presión). Normalmente encontraremos el vapor con humedad, pero a los efectos prácticos lo podemos considerar un vapor saturado seco . (El **título** del vapor depende de las condiciones químicas y físicas en la caldera: el régimen de fuego, aperturas bruscas de consumos, PH, T.S.D. , contaminantes, etc.).



CALDERA HUMO TUBULAR DE 3 PASES

2- El agua y el vapor (parte 2) **El agua**

Hemos visto que el agua está compuesta por una molécula formada por 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno . Esta agua puede encontrarse en forma sólida (hielo), líquida (agua) o gaseosa (vapor). En nuestro caso trataremos el agua en forma de líquido y vapor.



Agua pura : H2O

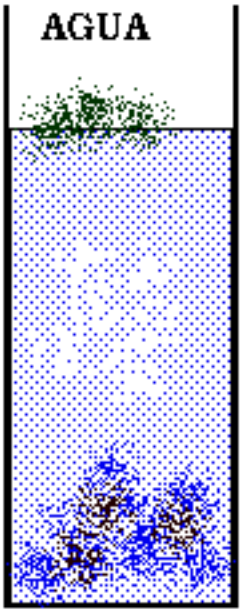
Transparente, inodora, incolora
sin sabor, aislante, solvente universal
calor específico 1 Kcal/Kgr

El agua pura no existe libre, hay que producirla por medios artificiales: desmineralización, varias destilaciones o a partir del oxígeno puro y el hidrógeno (se produce mucho calor)

El agua "dulce" o de utilización humana casi "directa" proviene de las lluvias, ríos, lagunas o pozos (pudiendo haber aguas destiladas o purificadas del mar).

EL AGUA

H2O (2 HIDROGENOS, 1 OXIGENO)



ESPUMAS: orgánicas o inorgánicas

SALES DISUELTAS: inorgánicas (color, sabor,olor o nada)
T.S.D. = total de sales disueltas

ELEMENTOS DISUELTOS: orgánicos , contaminantes.

GASES DISUELTOS : oxígeno, nitrógeno (aire), otros.

ELEMENTOS EN SUSPENSION : orgánicos e inorgánicos

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

El agua es casi un solvente universal, trae con ella **materias** que vienen en 3 formas diferentes : **1- disueltas** que no se ven o se ven (por el color), le dan o no sabor (gusto), o le dan o no olor (aromas), (Ejemplo : como la sal de comer -cloruro de sodio- que la da sabor solamente). A estas sales las llamaremos **Sales Disueltas** (**T.S.D.**) porque sus moléculas se "mezclan" con las del agua. Estas sales se miden de distintas formas para saber su cantidad e identificarlas. **2- Sólidos en suspensión**, son materiales que no llegan disolverse totalmente en el agua, sus moléculas permanecen unidas formando pequeños cuerpos (ó soles), que en general se pueden ver, que afectan en muchos casos el color, el olor y el sabor del agua (dentro de estos sólidos estarán en general los microorganismos que viven o contaminan dichas aguas). **3-Gases disueltos**, estos están al igual que las sales disueltas integrados con las moléculas de agua, pero en general su **condición es muy inestable**, ya que **dependen** en gran forma de la **temperatura del agua** y de la **presión parcial** de dicho gas en la superficie de la misma (pueden dar sabor, olor y color o nada).

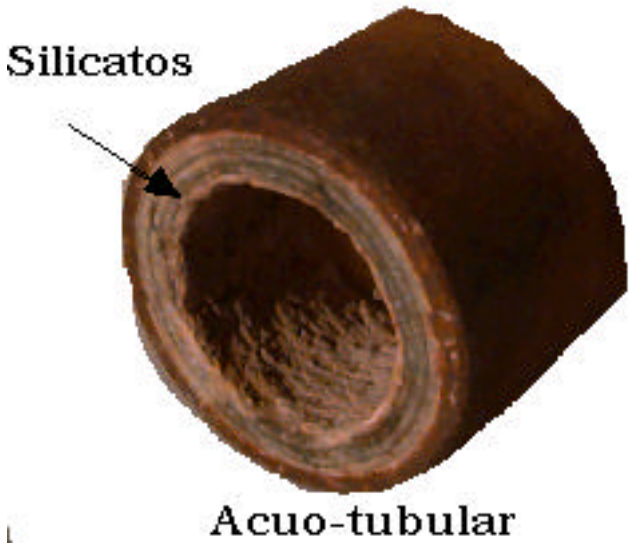
El agua para las calderas debe cumplir con la parte química en forma fundamental. Veamos el porqué:

El agua en el interior de la caldera, debido a sus **condiciones de suministro y transformaciones provocadas por el aumento de temperatura o por el aumento de concentración de sus sales disueltas o sólidos en suspensión** (debido a la evaporación en el interior de la caldera, que deja las sales y sólidos en el agua de la caldera y sale el vapor casi "puro"), produce los siguientes problemas:

TUBO DE CALDERA ACUO-TUBULAR INCRUSTADO

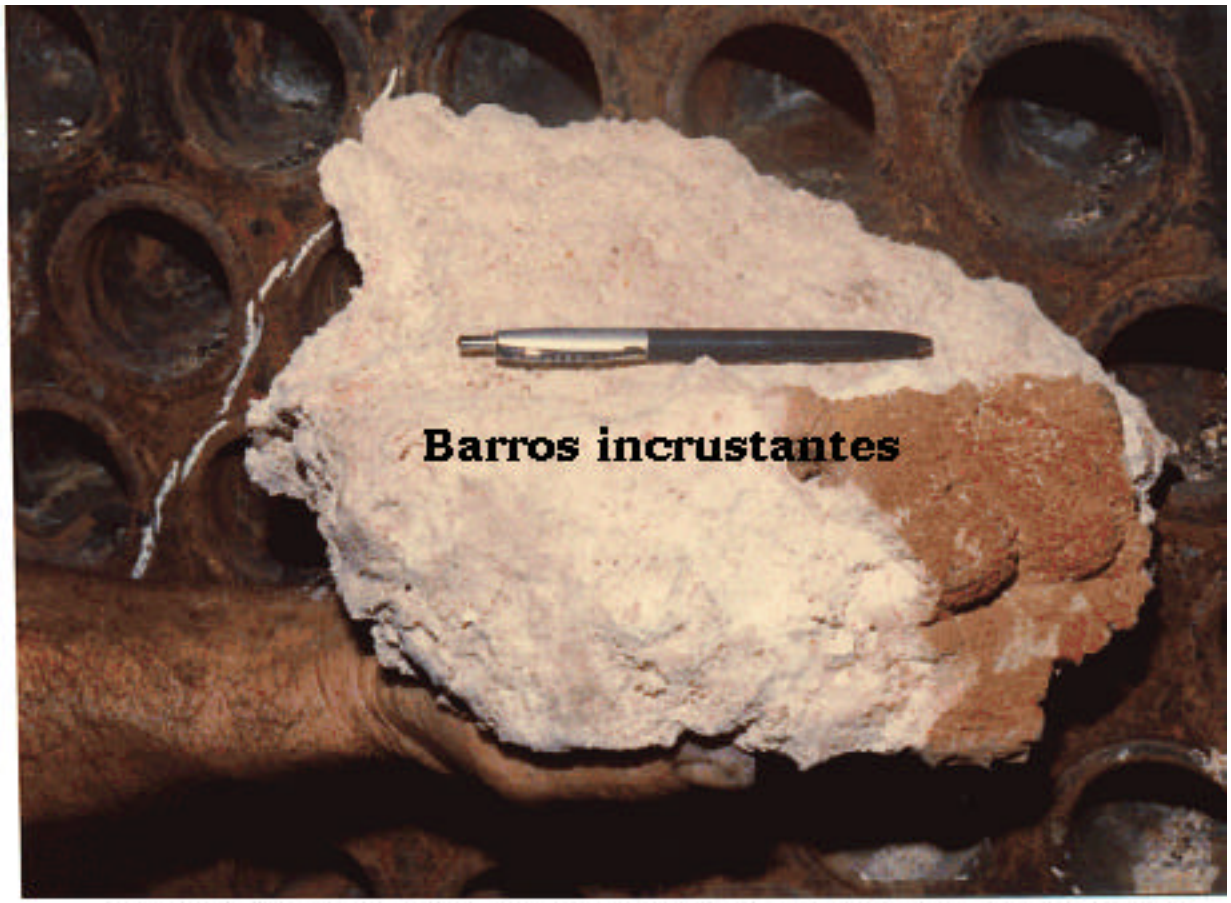
1- Incrustaciones (esto significa la formación de una capa de material "químico" que se adhiere a la pared de las superficies de calefacción, provocando dificultades en la transmisión del calor desde el "fuego" al agua, calentándose el metal en exceso debido a que el agua no lo "refrigera" lo suficiente - permitiendo que se "queme" el metal). Generalmente estas incrustaciones están formadas por **sales de calcio y magnesio** (dos elementos químicos muy comunes en el agua - forma lo que llamaremos "**la dureza**" **del agua** - comúnmente vienen en el agua como sales disueltas en forma de Bicarbonatos de Calcio y de Magnesio -**muy solubles**-, descomponiéndose en el interior de la caldera en sales poco solubles: Carbonatos de Calcio y Magnesio-**muy insolubles**- o sus Hidróxidos -algo solubles- . El Carbonato de Calcio es el mármol-pudiendo contener Carbonato de Magnesio, así forma la Dolomita. La "cal de blanquear" es el Hidróxido de Calcio , es algo soluble). Los Bicarbonatos de Magnesio por el calor y las condiciones

químicas del agua, tienden más a formar el Hidróxido de Magnesio, elemento más incrustante como "barros" que como incrustación directa, al aumentar su concentración. Pueden venir **otras sales de calcio y magnesio** -de solubilidad variable-(generalmente sulfatos y a veces cloruros. Los sulfatos muchas veces derivan del propio tratamiento del agua en las plantas de potabilización: al utilizarse el Sulfato de Alúmina como elemento clarificador, éste reacciona con la alcalinidad natural del agua : bicarbonatos de calcio y magnesio). Estas incrustaciones de sulfatos son extremadamente duras y difíciles de sacar. Las inscrustaciones de sulfatos son provocadas al aumentar su concentración en el interior de la caldera y debido a que con el aumento de la temperatura tiende a "precipitar" o sea a formarse un cristal que se deposita en la superficie más caliente.



La **sílice** (**SiO2**, o silicatos, compuestos que vienen en el agua en forma de sales o como un elemento en suspensión coloidal), tiende a formar incrustaciones muy duras al acumularse en el agua de caldera. Las incrustaciones de sílice son como de " vidrio o arena", muy duras y muy difíciles de extraer mecánicamente y químicamente, sumamente aislantes, no dejando pasar el calor al agua, aún en pequeños espesores.

Otras veces las propias **incrustaciones las "fabrican" los tratamientos químicos** internos mal hechos (generalmente por el uso inadecuado de los fosfatos, polímeros y las purgas , siendo estas incrustaciones difíciles de sacar).



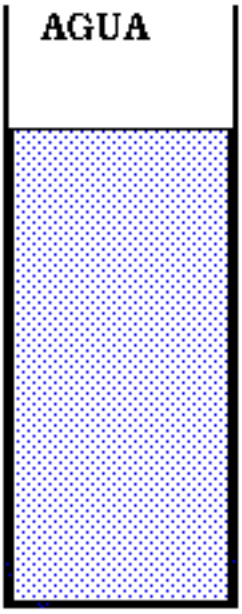
CALDERA HUMO-TUBULAR INCRUSTADA CON BARROS

2-Barros (Definiremos como barros aquellas sales que una vez que "precipitan" tienden a "aglomerarse" formando sólidos en suspensión que unidos en forma de barros tienden a depositarse en las superficies de calefacción o "fondos", de los cuales no pueden ser extraídos por las purgas de fondo). Estos barros están formados por **sales** (del tipo de las anteriores) y **sólidos en suspensión** que puedan venir con las aguas de reposición o condensados (y del propio tratamiento inadecuado).

CAJA DE ALIMENTACIÓN DE DE AGUA EN CALDERA

3- Corrosión : (llamaremos corrosión al ataque de los metales de la caldera o sistema -línea de vapor y condensado, incluyendo equipos-, provocando "picaduras": perforaciones; corrosiones "generalizadas": ataque de toda una zona con pérdida del metal, etc.).El oxígeno que viene con el agua es el principal causante y acelerador de los procesos de corrosión en general. Tenemos corrosiones del tipo exclusivamente químico, pero generalmente están asociadas a fenómenos electro-químicos (a diferencias de temperaturas, metales diferentes, tensiones, PH, sales disueltas, oxígeno, etc).

AGUA DESEABLE PARA CALDERAS



ESPUMAS: sin espumas
CLARIFICAR Y FILTRAR

ELEMENTOS EN SUSPENSION : sin elementos en suspensión
CLARIFICAR Y FILTRAR

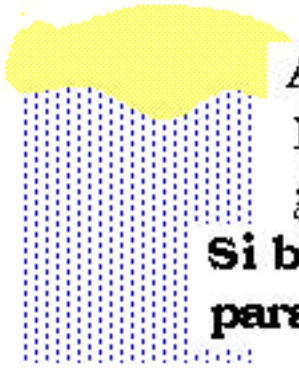
SALES DISUELTAS: con el mínimo de sales disueltas especialmente sin Ca y Mg
ABLANDAR
DESMINERALIZAR

GASES DISUELTOS : sin gases , especialmente sin oxígeno.
CALENTAR

Agua para alimentación de caldera: clarificada, filtrada, ablandada o desmineralizada, desgasificada o desareada, con un tratamiento químico para un PH no corrosivo y un elemento secuestrante del oxígeno residual, calentada (evita choques térmicos).

EL AGUA PURA ES CORROSIVA

Formas de preparación de las distintas aguas para su utilización:
La preparación del agua para su utilización depende del **tipo de caldera**, **presión de trabajo** y **calidad del vapor** necesaria. Dado lo extenso del tema, trataremos el caso de las calderas de baja presión en general.



AGUA DE LLUVIA :
Pocas sales disueltas, tendencia ácida.
gases disueltos y partículas en suspensión.
Si bien es la más "pura", es muy corrosiva para usar en calderas.

Agua de lluvia:

Se utiliza poco, esta agua tiene la ventaja de no tener casi sales (muy pocas), pero el **alto contenido de oxígeno y anhídrido carbónico** del aire las hace muy corrosivas (en otros casos las sales que trae el agua al formar una "capa " o escudo protector de la corrosión, en este caso no se forma, hace necesario su tratamiento. Para saber si las aguas tienen tendencia corrosivas o incrustantes se hace un análisis y se utilizan tablas: Indice de Langelier, Indice de Ryznar, Indice de Puckorius). En el tratamiento para su utilización en una caldera es fundamental eliminar estos gases (O2 y CO2). Para ello podemos en primera instancia eliminarlo **calentando bien el agua de alimentación** (o utilizando un des-areador térmico-mecánico). **La solubilidad de los gases en el agua es inversamente proporcional a la temperatura**, es decir, a mayor temperatura menos gases puede disolver el agua (esto lo vemos al destapar una bebida gaseosa caliente y una fría, la caliente tiende derramarse al escapar el gas rápidamente). Luego el residual de oxígeno debe de ser eliminado químicamente (por medio de sulfitos, hidrazina, etc. - debemos de tener mucho cuidado con el uso de la hidrazina debido a que se le considera una sustancia "peligrosa" para la salud).

El uso de algunas de estas sales químicas aumenta las sales en el interior de la caldera, por lo que el régimen de purgas debe ser aumentado (sulfitos).

AGUA DE RIO :
Relativamente pocas sales, muchos gases.
turbidéz, sabor, olor, materia orgánica, contaminada, etc.
Clarificada, filtrada, ablandada, destilada o desmineralizada, es el agua de mejor resultado en las calderas.

Agua de río:

El agua de río es la más común en el uso de las calderas, ya que es el agua que normalmente suministra el Estado (potabilizada por OSE).

Estas aguas varían de acuerdo a las épocas del año (evaporación) y las lluvias, teniendo gran contenido de gases (aire, anhídrido carbónico, amoníaco, etc.) por ser de superficie. En el contenido de sales son variables, pero generalmente son en menor cantidad que las aguas de pozo (por eso es preferible el agua de superficie que la de

pozo para uso en calderas, requiere menos tratamiento químico, menos cantidad de purgas, etc.).El agua "cruda" del río debe ser tratada (veamos el esquema anterior): Tomada del río se le adiciona un producto para **eliminar las sustancias en suspensión** (generalmente sulfato de alúmina, que reacciona con la alcalinidad natural del agua: bicarbonatos de calcio y magnesio normalmente) en **un mezclador**. Esto hace "**coagular**" (neutralizar las cargas eléctricas que mantienen separadas las sustancias en suspensión) y "**flocular**" (unir las partículas en una pequeña esfera que tiende a decantar en el fondo de un recipiente) las partículas (junto con los microorganismos) para que se depositen en un sistema "**decantador**" (formando barros). De allí **se filtra** (sacando materiales en suspensión que no han decantado) y sale también tratada con un "**desinfectante**" (generalmente Hipoclorito de sodio) para eliminar los microorganismos restantes. Se **regula el PH** para evitar la corrosión en las líneas de suministro (se agrega ceniza de soda o hidróxido de calcio : cal apagada o cal "viva", esto repone su alcalinidad que fue consumida por el sulfato de alúmina).

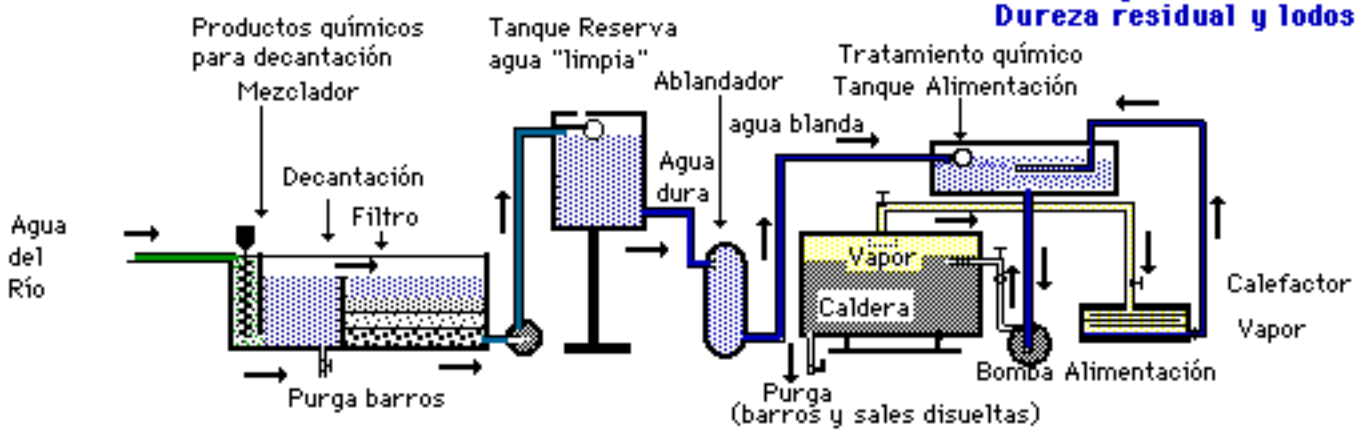
PREPARACION DEL AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERAS

Agua turbia → clarificada → filtrada → ablandada → calentada + trat.químico

turbia ⟶ clara ⟶ sin calcio y magnesio ⟶ sin oxígeno

PH y Oxígeno

Dureza residual y lodos



Ciclo del agua en un circuito de caldera-Desde el río a la purga

CLARIFICACION	SULFATO DE ALUMINIO, POLIMEROS, HIPOCLORITO, ETC.
FILTRADO	FILTROS DE ARENA, DE GRAVEDAD , DE PRESION, ETC.
ABLANDAMIENTO	INTERCAMBIO IONICO, OSMOSIS INVERSA, ETC.
DES-AREADO	CALENTAMIENTO Y VACIO
PRODUCTOS QUIMICOS	SECUESTRO DE OXIGENO, DUREZA RESIDUAL, PH. ACONDICIONADOR DE LODOS

CALDERA HUMO-TUBULAR SUMAMENTE "INCRUSTADA"

Como vemos a estas aguas solamente se les ha sacado los materiales en suspensión, olores, sabores y microorganismos, se ha aumentado el contenido de sales disueltas y se mantienen los gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico, etc). **Para su utilización en calderas** debemos **eliminar las sales incrustantes** (las que contienen calcio y magnesio) **o todas las sales** (caso de calderas de media y alta presión) y los **gases corrosivos.**

Podemos eliminar las sales de calcio y magnesio que forman la dureza del agua (o todas las sales) **antes de utilizar el agua** en la caldera **o en el interior de la caldera transformándolas en "barros"** que sacaremos por las purgas. El método más común (en baja presión) es el de eliminar la "dureza" antes de utilizar el agua, es el de usar un "intercambiador iónico " (**"ablandador de agua"**, "suavizador", etc.). Este se encarga de cambiar (intercambiar) los iones de calcio y magnesio por iones de sodio (pequeñas esferitas cargadas de sodio toman el ion calcio y magnesio y entregan un ion de sodio al pasar el agua entre ellas . Una vez que estas han agotado su sodio, deben ser regeneradas con cloruro de sodio -sal común-). En el caso de utilizar un intercambiador iónico del tipo sódico (ablandador) vemos que la cantidad total de sales sigue siendo la misma debido a que una ha sido desplazada por otra. Esta agua **no incrusta** pero es **muy corrosiva**, debido a que no habrá ninguna sal que forme una capa de "protección" contra la pared del metal (incrustación, capa de óxido estable). Podemos decir que el ablandador de agua es un abaratador del tratamiento y mantiene la caldera libre de barros. Es el primer paso del tratamiento para el agua de caldera (veremos otros), por lo general el segundo es el tratamiento químico interno.

Antiguamente se eliminaban buena parte de las sales por medio de **la precipitación química** (reaccionando las sales con otras sales que se introducen y reaccionan formando sales que precipitan, dejando de estar disueltas

en el agua, de manera que pueden ser decantadas y el agua filtrada, lográndose que la mayor parte de las sales se eliminan). Este método es costoso y necesita un control químico permanente.

Podemos eliminar casi totalmente todas las sales que contiene el agua (tanto los **radicales ácidos** como los bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros o los **radicales los alcalinos**, como los de calcio, magnesio, sodio u otros, **utilizando para ello el intercambio iónico** (con resinas que intercambian estos radicales por **H**-hidrógeno- y **OH**-oxhidrilos, que se regeneran las primeras con ácidos y las segundas con soda), ambos forman **H2O en el lugar de las sales** : agua. Esta agua se llama **agua desmineralizada**. Esta agua tiene un costo para su preparación muy importante, se utiliza fundamentalmente en calderas con alta y media presión. Es un agua de por sí corrosiva (por la razón antes dicha en el caso del agua blanda). También se puede lograr esta calidad de agua por medio de la **destilación** (o sea, evaporando el agua y volviéndola a condensar, dejando las sales concentradas en una solución que se purga; antiguamente era la única forma de lograr un agua sin sales (luego de varias evaporaciones sucesivas para lograr una pureza elevada). **Esta agua sin sales, se llama agua destilada** (o de acuerdo al número de destilaciones en: bidestilada, etc)**.**

Actualmente, también se logra un agua casi "pura" (en que se eliminan casi todas las sales) **por medio de una filtración con una membrana** (filtro de celulosa o poliamida) **que solo deja pasar el agua** (ósmosis inversa, provocada por agua a relativa alta presión, en la cual pasa agua casi pura en un determinado %, habiendo un % que se tira para mantener una concentración máxima del lado del agua con sales), que se puede depurar más volviendo a efectuar nuevamente en otro cuerpo filtrante el agua obtenida y **que luego se puede depurar más por medio del intercambio iónico en un lecho mixto de resinas** (desmineralizador con las resinas mezcladas, que se separan para su regeneración).

En el **tratamiento interno**, **el ablandamiento** (eliminación del calcio y el magnesio) se hace **exclusivamente con productos químicos** (que generalmente forman barros como los fosfatos, polímeros, etc. o sales no formadoras de barros como el EDTA, etc..). Vemos que **las purgas** juegan un papel fundamental para poder **sacar los barros** correctamente (se observa que las sales disueltas disminuyen aún agregando productos químicos -por precipitación- pero debido a la cantidad de barros se hace necesario mantener las aguas "claras"con la purga de fondo). **La purga continua** saca las sales disueltas que se van acumulando al salir el vapor (agua pura) y quedar las sales.

Los gases deben ser tratados igual que en el caso del agua de lluvia.

Aunque usemos agua pura, debemos hacer un tratamiento químico interno, de lo contrario tendremos problemas de corrosión, ya que el agua pura es corrosiva (tiende a disolver el hierro que compone la caldera).

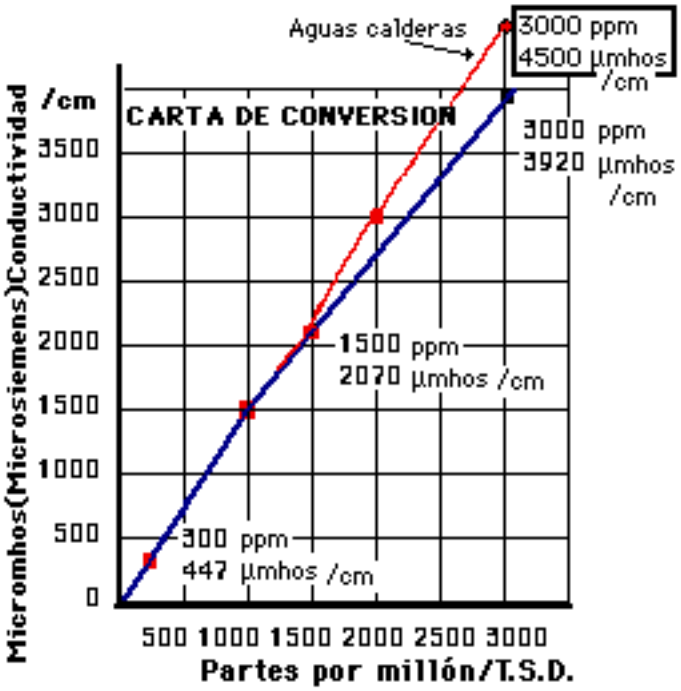
Nunca debemos olvidarnos de la Sílice (SiO_2, no en forma de arena, sino la que viene en forma de sal soluble o en forma coloidal, es eliminable en algunos de los tratamientos anteriores, no en el ablandamiento por ciclo sódico)**, en el agua de caldera puede llegar a formar incrustaciones muy duras y aislantes** (casi imposible de eliminar una vez establecidas) **, o puede ser arrastrada en el vapor, provocando en las calderas de media y alta presión problemas muy graves de depósitos en las turbinas** (incrustaciones muy duras en los álabes de las turbinas de vapor, provocando bajo rendimiento, vibraciones graves, etc) **o en los sobrecalentadores de vapor** (provocando incrustaciones que aislan el tubo del vapor, quemándose el tubo). **Cuanto más alta la presión de trabajo, más fácil es el arrastre de la sílice** (ya que tiende a vaporizar junto con el vapor de agua).

AGUA DE POZOS :
Muchas sales disueltas, clara, a veces gases , sin olor o color.
Agua muy mala para las calderas, exceso de dureza y sales (generalmente)
Más sal para ablandar, más purgas para mantener los límites (perdemos calor y agua tratada), más tratamiento químico.
Vapor con más contaminaciones.

Aguas de pozos:

Estas aguas generalmente contienen pocos gases (no siempre), pero sí muchísimas sales -"dureza"- (generalmente libres de elementos en suspensión, a veces arena). Son muy tentadoras para su uso en calderas, ya que parecen ser "gratis" y no necesitan un tratamiento como el agua del río para su potabilización. Pero su uso es generalmente inconveniente por el **costo del tratamiento químico**, debido al alto contenido de sales, que obliga a purgas muy elevadas, a grandes consumos de productos químicos y muchas veces a problemas en la **calidad del vapor (se provocan arrastres y CO2, elemento muy corrosivo en el condensado)**.

GRAFICO INDICANDO LA RELACION ENTRE LA CONDUCTIVIDAD Y EL CONTENIDO TOTAL DE SALES DISUELTAS (T.S.D.). DE UN AGUA NATURAL PROMEDIO Y CURVA TEORICA ADECUADA PARA AGUA DE CALDERA EN BAJA PRESION Y TORRES DE ENFRIAMIENTO.



Problemas ocasionados por el tratamiento químicos del agua:

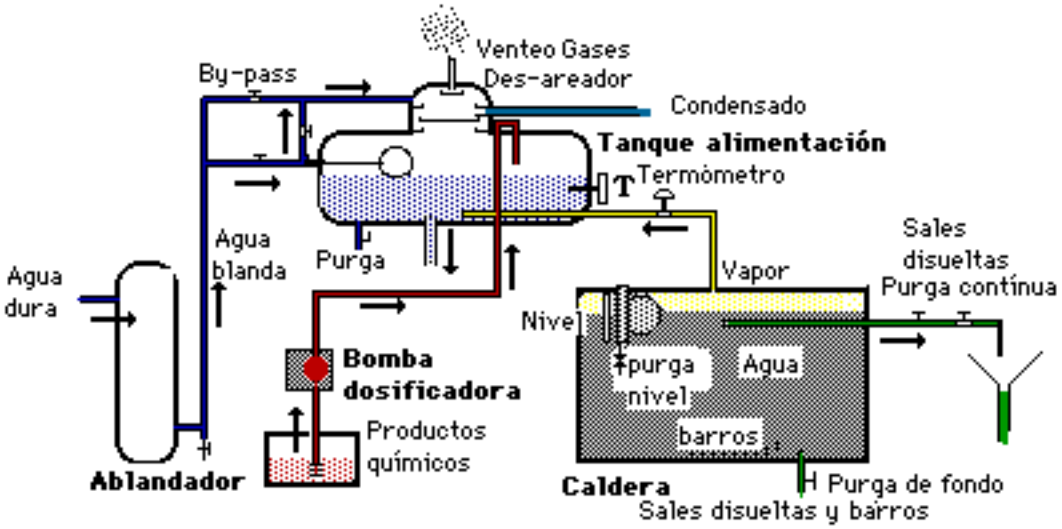
Dentro de los problemas de un tratamiento, lo más importante es establecer los valores adecuados de los **parámetros que se analizan** (alcalinidades, Total de Sales Disueltas-T.S.D.-, PH , Fosfatos, Sulfitos, cloruros, etc.)., ya que **a iguales calderas, presiones y calidad de agua**, puede haber hasta **diferencias de comportamiento en la forma de utilizar el vapor**: Una planta que tiene consumos grandes y rápidos de vapor tiende a "arrastrar" con más facilidad el agua de caldera, por ello aquellos parámetros relacionado con el arrastre deben ser bajados (Alcalinidades-hidróxido-PH- Total de Sólidos -disueltos y en suspensión-ciclos de concentración, etc.).

En muchos casos se agregan productos que son "buenos" para eliminar un problema, pero estos mismos productos pueden ocasionar graves perjuicios materiales o a la salud. (Un tratamiento de caldera lleva años para su correcta evaluación, por lo que hay que ser muy cauto en los cambios y con "los productos milagrosos").

Tubos humo-tubulares con corrosión ácida
Limpieza química mal efectuada, ver porosidad de ataque.
Ataque local y general
afinamiento externo de la pared del tubo corrosión general ácida.

Como elemento fundamental, es aconsejable vaciar y abrir las calderas cada 6 meses, manguearlas con

agua a presión y juzgar el estado en que se encuentran (no hay mejor forma, los análisis químicos son de relativa seguridad)**.** Las purgas y la forma de hacerlas juegan un papel fundamental, ya que si no se hacen en cantidad correcta y en forma, por mejor que sean los productos a utilizar, la caldera o el proceso son afectados.Es importante saber disponer no solo qué productos químicos son necesarios, sino la forma en que serán utilizados, sus cantidades y la disposición de los equipos auxiliares al tratamiento (ablandador de agua, dosificadores, etc.).



ESQUEMA IDEAL DE UN TRATAMIENTO QUIMICO

AGUA ABLANDADA, DES-AREADA, TRATADA QUIMICAMENTE + PURGAS FONDO Y CONTINUA.

DOSIFICACION CONTINUA DE PRODUCTOS QUIMICOS.

Un tratamiento ideal es aquel que evite la corrosión, que no forme incrustaciones ni barros, que no permita arrastres de agua de caldera en el vapor y que sea económicamente viable.

Si al agua le sacamos todas las sales (destilado o desmineralizado), sería lo ideal, pero el costo es muy alto y el control bastante difícil (se debe controlar la corrosión. Puede haber problemas con la sílice (SiO_2) si no se saca adecuadamente, ya que se aumentan los ciclos de concentración, puede incrustar o haber arrastres).

Por lo cual, el ideal de tratamiento es (en baja presión, no en el 100 x100 de los casos):

1- **Eliminar** el **calcio** y el **magnesio** antes de entrar el agua a la caldera.

2- **Eliminar** los **gases** (fundamentalmente oxígeno), cuando no se disponga de un des-areador, calentar el agua lo más próximo a 100ºC que se pueda (por ello el tanque de alimentación debe estar por encima -4 a 5 m.- de la bomba de alimentación para evitar la "cavitación" y poder disponer de una calefacción con vapor).

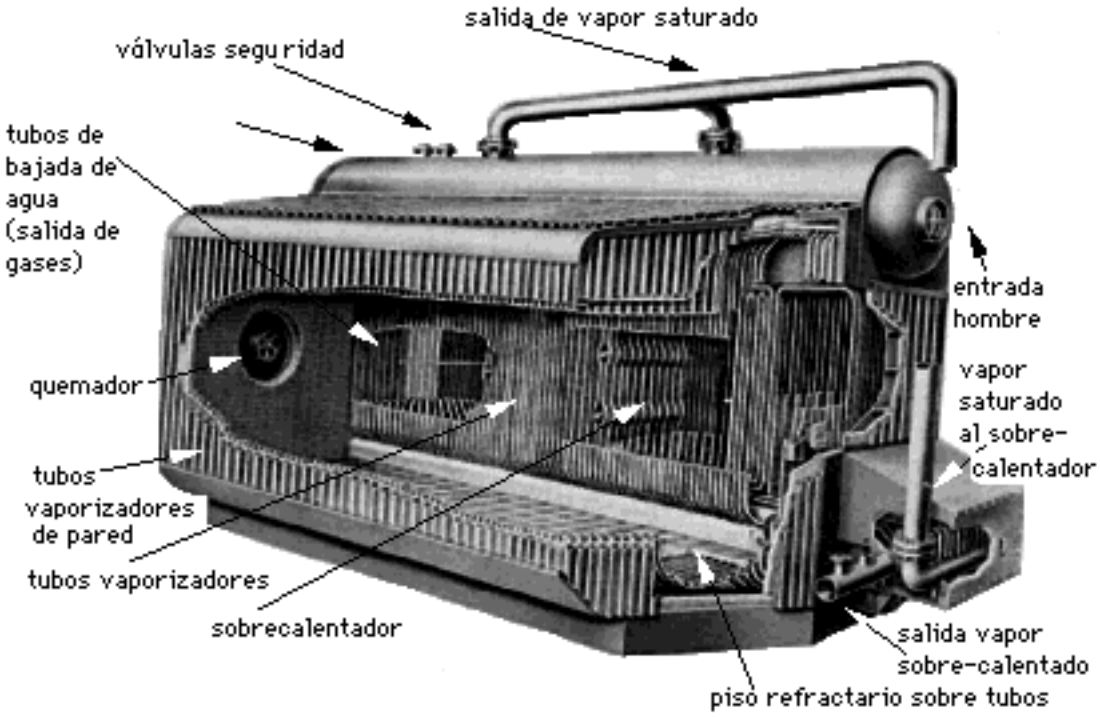
3-**Un tratamiento interno** con dosificación continua, para eliminar el oxígeno "residual", para mantener un nivel de productos que elimine la dureza "residual", regular el PH (PH bajo =corrosivo ácido, PH muy elevado= corrosivo por inestabilidad de la capa protectora de óxido y "arrastres" de agua en el vapor).

4- Un sistema de **análisis** para el **control** (turno, diario, semanal, etc., el ablandador cada turno = dureza), hecho en planta por el encargado de la caldera.

5-Un sistema de **purgas**, **fondo** y **continua** (incluyendo los **niveles cada 4 horas**), manteniendo los valores en

sus límites máximos admisibles. (Es importante poder medir el caudal por minuto de la purga continua, disponiendo después del recuperador de calor -para la eliminación del vapor de"flash"- un lugar donde medir).

6-**Recuperar** el máximo de **condensado**, en general es agua pura (Se debe vigilar con análisis las posibles contaminaciones que pueda traer el condensado).



CALDERA ACUO-TUBULAR TIPO FM moderna

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)